

$$+c^2(m_r) \left[\left(2 \frac{u(m_r)}{m_r} \right)^2 + \left(\frac{u(m_{w1})}{m_{r1}} \right)^2 + \left(\frac{u(m_{w2})}{m_{r2}} \right)^2 + \left(\frac{u(m_{nam})}{m_{r2}} \right)^2 + u_c^2 \right], \quad (4)$$

де

$$c(\rho_{a1}) = \frac{\rho_{a1}}{\rho_t} \left(\frac{\rho_t}{\rho_{pid}} - 1 \right); \quad |c(m_r)| = \frac{(\rho_t - \rho_{pid})}{\rho_{pid}};$$

$$\frac{u(m_r)}{m_r} = \frac{1}{2} \left(\frac{u(m_{r1})}{m_{r1}} + \frac{u(m_{r2})}{m_{r2}} \right); \quad u_c = \left(\frac{\rho_t}{\rho_{pid}} - 1 \right) \left(\frac{\rho_{a1}}{\rho_{r1}} - \frac{\rho_{a2}}{\rho_{r2}} \right),$$

$u(m_{nam})$ – невизначеність, обумовлена впливом поверхневого натягу на підвіску;

$\frac{u(\rho_{pid})}{\rho_{pid}}$ – відносна невизначеність густини рідини, в яку занурюють випробну гирю під час другого зважування.

На підставі проведених в ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ» досліджень було доведено, що застосування описаного вище способу гідростатичного зважування дозволяє визначати густину матеріалу гир із невизначеністю до 0,2 кг/м³. Це дає змогу більш точно обчислити значення поправки на дію виштовхувальної сили повітря порівняно із результатами обчислень цієї ж поправки із застосуванням довідкових значень густини матеріалу, і як наслідок, підвищити точність визначення маси гир під час їх калібрування.

Ключові слова: гирі, густина, зважування, гідростатика.

УДК 681.26

ВИМІРЮВАННЯ «ВЕЛИКИХ» СИЛ ГРУПОЮ ПАРАЛЕЛЬНО НАВАНТАЖЕНИХ ДАТЧИКІВ

Ціпоренко О. В.

Державне підприємство «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів» (ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ»), Київ, Україна

E-mail: tsiporenko@gmail.com

Проблема вимірювання значень сили у діапазоні понад 5 МН лишається актуальною вже протягом не одного десятиліття. За цей час було запропоновано багато моделей вимірювання. Оскільки більшість національних еталонів одиниці сили у світі рідко перевищує межу відтворення одиниці у розмірі 1 МН, виникають складнощі із передачею розміру одиниці і вимірювання у діапазонах понад ці значення. Частково це питання дозволяє вирішити метод паралельного навантаження групи динамометрів (3 або більше). В нашому випадку розглянемо групу із трьох паралельно навантажених датчиків сили, оскільки три точки завжди утворюють площину у

просторі і є статично визначеною системою. У якості складових елементів були обрані датчики типу 106ВН, виробництва фірми Anyload.

Попередні розрахунки і дослідження показали, що визначальний вплив на методичну похибку має відхилення від перпендикулярності пружних елементів датчиків відносно проміжної плити, що розподіляє навантаження серед них.

Конструкція групи паралельно навантажених датчиків була обрана з умов запобігання механічному руйнуванню системи в цілому та окремих її елементів. З метою мінімізації впливу чинників, пов'язаних із бічними та згинальними зусиллями, розрахунку граничних напружень було обрано критерій пластичності фон Мізеса [1]. Для зручного користування необхідно було спроектувати систему таким чином, щоб зменшити невизначеність та вагу її елементів.

Конструкція опорної плити дозволяє розмістити датчики на відстані не більше 5 мм один від одного, що в свою чергу зменшує відстань від точки прикладення навантаження до точок його розподілу на кожен датчик. Для зменшення витрати матеріалу під час виробництва було обрано форму трикутника із округлими вершинами, що ґрунтується на результатах чисельного моделювання за методом кінцевих елементів напружено-деформованого стану опорної плити при навантаженні 15 МН (рис. 1).

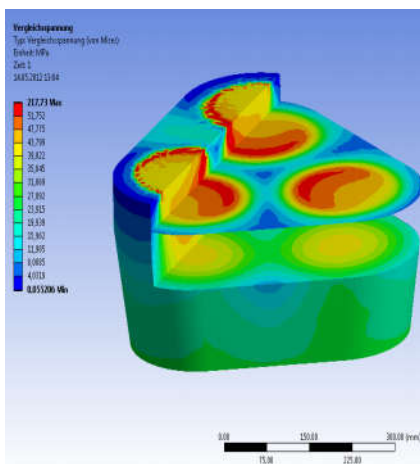


Рис. 1. Напружено-деформований стан опорної плити

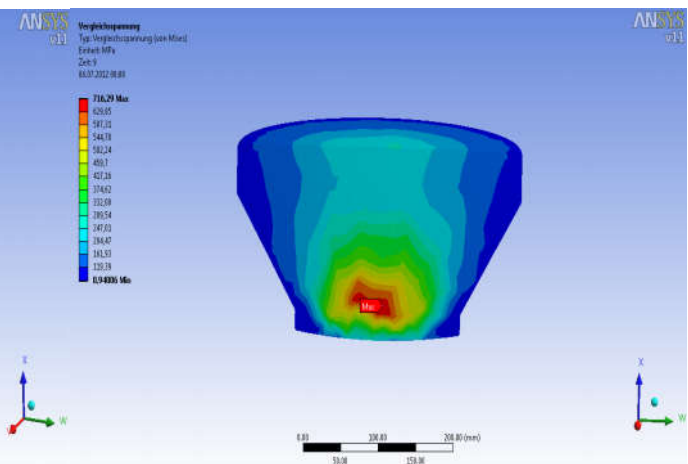


Рис. 2. Напружено-деформований стан верхньої чашки

Важливим аспектом конструкції верхньої чашки кожного із 5 МН датчиків є увігнута форма контактної поверхні (рис. 2), що має на меті зменшення напружень у зоні контакту. Конічна форма обумовлена необхідністю збільшення площини контакту та зменшення поверхневого тиску у цій зоні. У середині матеріалу напруження можуть досягати значення у 1100 МПа. Це припустимо, оскільки зона в якій виникають ці напруження є обмеженою та порівняно малою, що не викликає критичних зміщень в мікроструктурі, які могли б спровокувати появу та ріст тріщини.

Остання деталь – верхня чашка. Вона забезпечує сферичну контактну зону,

що уможлиблює компенсацію крутильних моментів, які виникають при згинанні. З метою утримання напружень всередині матеріалу низькими та унеможливлення механічних відмов радіус поверхні верхньої чашки повинен бути якомога більшим.

У разі непаралельності навантажувальних плит силовиміральної машини, середня точка зони контакту буде рухатися вбік більше, ніж якби радіус був дуже малий. Для підтримання напружень та деформацій у точці контакту вектора сили якомога меншими, обидві частини мають сферичні поверхні, пластина введення сили на верхній частині датчиків має радіус 1000 мм, навантажувальна чашка на поверхні контакту – радіус 800 мм.

Вимірювання проведено за допомогою шестиканального підсилювача DMP41, здатного обслуговувати одночасно всі канали системи. Вони були позначені окремо та проаналізовані у шаблоні Excel, який обчислює суму сигналів системи і відхилення між кожним окремим датчиком під час калібрування. Шаблон також дозволяє обчислити центр введення сили, порівнюючи сигнали окремих датчиків після занесення їх геометричних розмірів вводяться в шаблон [2]. За результатами експериментальних досліджень обчислені складові сумарної невизначеності W_1 , W_2 , W_3 , W_5' , W_6 , W_8 , W_{rev} (Табл. 1), які визначено у Додатку С до стандарту ISO 376:2011 [3], що був обраний у якості методу калібрування системи на еталонній силовиміральній машині РТВ (Німеччина) із верхньою границею вимірювання 16,5 МН.

Таблиця 1.

Значення сили, кН	W_1 , %	W_2 , %	W_3 , %	W_5' , %	W_6 , %	W_8 , %	W_{rev} , %
1500	0.01	0.0057	0.0057	0.0128	0.0075	0.0882	0.0383
3000	0.01	0.0040	0.0040	0.0128	0.0075	0.0044	0.0383
4500	0.01	0.0032	0.0041	0.0111	0.0075	0.0080	0.0334
6000	0.01	0.0022	0.0037	0.0082	0.0075	0.0067	0.0246
7500	0.01	0.0021	0.0026	0.0052	0.0075	0.0038	0.0155
9000	0.01	0.0021	0.0022	0.0030	0.0075	0.0001	0.0089
10500	0.01	0.0021	0.0023	0.0011	0.0075	0.0021	0.0034
12000	0.01	0.0027	0.0020	0.0001	0.0075	0.0022	0.0004
13500	0.01	0.0037	0.0018	0.0003	0.0075	0.0016	0.0009
15000	0.01	0.0032	0.0013	-	0.0075	0.0019	-

Результати експериментальних досліджень дозволили виявити поведінку розробленої системи (рис. 3). Після серії в нульових положеннях (R1 і R2) відхилення від вертикальної вісі симетрії верхньої навантажувальної чашки становило до 3 мм. Що майже точно співпало із розрахунковим значенням при максимальному навантаженні (рис. 3, зелені ряди R1 і R2). Однак за менших значень сил значення різниці була більшою. Одною з причин є контактна область між двома сферичними поверхнями. Завдяки геометричним ефектам

подвійної сферичної зони контакту, відносна дезорієнтація більша при менших навантаженнях, ніж при більших.

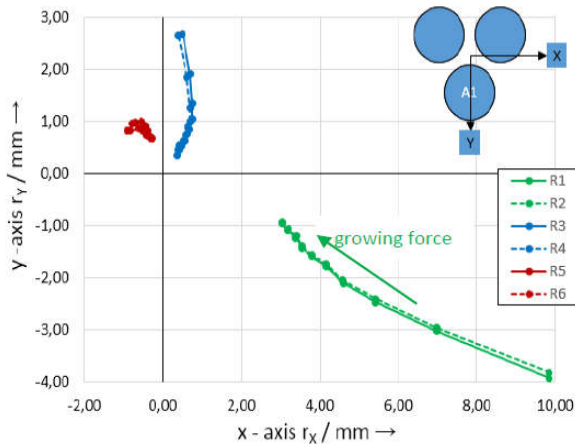


Рис.3. Залежність ексцентриситету сили від величини навантаження

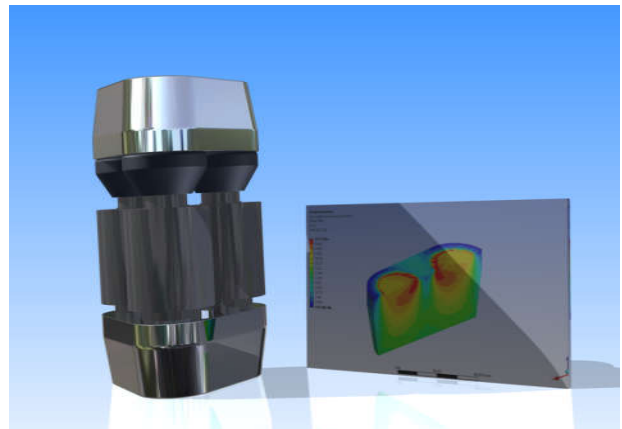


Рис.4. Загальний вигляд системи

Група паралельно навантажених датчиків класу точності 00 згідно з ISO 376 створена з трьох окремих датчиків, із використанням чисельних методів моделювання для оптимізації конструкції адаптаційних частин (рис. 4). Всі розрахункові значення підтверджені експериментальними дослідженнями. Показано, що важливо мінімізувати бічні складові сили і згинальні моменти для зменшення невизначеності.

Ключові слова: датчик, груповий метод, невизначеність.

Література

- [1] Ю. Н. Работнов, *Механика деформируемого твёрдого тела*. Москва, СССР: Наука, 1979.
- [2] Wagner, Tegtmeier, “Processing and evaluation of Build-Up System Measurement data”, in *XXI IMEKO World Congress “Measurement in Research and Industry”*, August 30 - September 4, Prague, Czech Republic, 2015.
- [3] ISO 376:2011 Metallic materials - Calibration of force-proving instruments used for the verification of uniaxial testing machines.

УДК 681.26

ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ KELI WEIGHING INTERNET OF THINGS (KELI IOT) В ИНДУСТРИИ ВЗВЕШИВАНИЯ

Матвиенко Ю. И.

ООО «Кели Украина», Киев, Украина

E-mail: keliukraine@gmail.com

«Интернет вещей» (IoT) с технологической точки зрения – это, по сути, сеть сетей, состоящих из уникально идентифицируемых объектов «вещей» (по факту «систем взвешивания»), которые могут взаимодействовать между собой через интернет подключение без вмешательства человека. Это сами устройства, которые вышли в сеть и взаимодействуют между собой.